



УДК 62-83

СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКОВ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

CURRENTS CONTROL SYSTEMS OF INDUCTION MOTOR ELECTRIC DRIVES WITH VECTOR CONTROL

Сидоров Алексей Александрович, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: Aleksey.sid1992@yandex.ru, Тел.: (343)3754646

Поляков Владимир Николаевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru. Тел.: (343)3754646

Aleksey A. Sidorov, Master student, Department «Electric Drives and Automation of Industrial Enterprises», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: Aleksey.sid1992@yandex.ru. Ph.: (343)3754646

Vladimir N. Polyakov, Doctor Sc., Prof., Department «Electric Drives and Automation of Industrial Enterprises», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.n.polyakov@urfu.ru. Ph.: (343)3754646

Аннотация: Дается постановка задачи исследования. Рассматривается проблема регулирования токов статора асинхронного электропривода. Анализируются современные подходы к построению систем регулирования токов статора: на основе классической теории регулирования, обобщенного метода подчиненного регулирования, принципов робастных систем, релейных систем и систем с прогнозирующим релейно-векторным управлением.

Abstract: The tasks of investigations are described. The problem of stator currents control in the induction motor electric drive is considered. The article discusses the modern approaches of building of stator currents control systems, which are based on: classic control theory, generalized method of subordinate control, principles of robust control, relay systems and systems with predictive relay-vector control.

Ключевые слова: асинхронный электропривод; системы регулирования токов; принципы построения.

Key words: asynchronous electric drive; currents control systems; principles of construction.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития промышленных электроприводов характеризуется значительным расширением области применения регулируемых асинхронных электроприводов, управление основными механическими координатами которого (скоростью, положением и т.п.), как и в случае применения других типов электроприводов, обуславливает решение задачи качественного регулирования электромагнитного момента асинхронного двигателя.

Известно [1], что качественное регулирование электромагнитного момента зависит от выбора состава регулируемых переменных и принципа построения системы автоматического управления асинхронного электропривода. На практике

качественное регулирование электромагнитного момента обеспечивается в системах векторного управления [2–5]. Существуют два основных подхода к построению систем векторного управления асинхронных электроприводов.

При первом подходе [1, 3] изменение электромагнитного момента производится путем воздействия на пространственный вектор токов статора, который таким образом, является регулируемой величиной.

Второй подход [4, 5] базируется на возможности управления электромагнитным моментом через изменение пространственного вектора полных потокоцеплений обмотки статора, что достигается путем оптимального переключения ключей инвертора напряжения.

Таким образом, в соответствии с первым подходом задачей является управление пространственным вектором током, а при втором подходе – пространственным вектором напряжений на зажимах обмотки статора асинхронного двигателя.

В докладе приводятся результаты аналитического обзора принципов построения систем автоматического регулирования (САР) токов статора асинхронного двигателя в составе электропривода с векторным управлением. Рассмотрены основные современные подходы к построению САР токов асинхронных электроприводов.

ПРОБЛЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКОВ СТАТОРА

Звено токов модели асинхронного двигателя представляет собой нелинейный двухмерный объект регулирования с перекрестными обратными связями, степень влияния которых зависит от частоты напряжения обмотки статора [1, 6, 7]. Динамические свойства этого звена определяются соотношением активных сопротивлений и полных индуктивностей обмоток двигателя. Активные сопротивления обмоток при функционировании электропривода подвержены влиянию изменения температуры. Полные индуктивности зависят от насыщения магнитных цепей. При изменении режима нагрузки существенное влияние на полные индуктивности оказывает изменение величины взаимной индуктивности. При реальных сочетаниях параметров процессы в звене токов имеют колебательный характер, причем частота колебаний в регулируемом электроприводе изменяется в широких пределах. В этой связи качественное регулирование токов статора встречает значительные трудности и требует поиска подходов, обеспечивающих заданные статические и динамические показатели качества.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКОВ СТАТОРА

Классический подход [1, 3, 6, 7]

Классический подход к построению САР токов статора для систем векторного управления асинхронных электроприводов основан на использовании фундаментальных принципов теории автоматического регулирования: принципа регулирования по отклонению, принципа регулирования по возмущению и принципа комбинированного регулирования. В результате получают пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы). Достоинство их состоит в простоте структуры и расчете параметров. Однако в условиях изменения нагрузок электропривода системы регулирования

токов с ПИ-регуляторами теряют заданные свойства, заложенные при их проектировании. Причиной является отсутствие текущей параметрической коррекции регуляторов при изменении свойств двигателя как объекта управления. Для повышения качества САР токов статора с ПИ-регуляторами в системах векторного управления предусматривают алгоритмы идентификации параметров двигателя, что усложняет в целом систему управления электропривода.

Подход на основе обобщенного метода подчиненного регулирования [8, 9]

Обобщенный метод подчиненного регулирования применим для нелинейных многомерных многосвязных объектов управления и позволяет получить структуры многомерных регуляторов токов, обеспечивающих переходные процессы, близкие к типовым процессам электроприводов постоянного тока. Полученные этим методом регуляторы позволяют решать следующие задачи: подавление высокочастотных помех, компенсацию влияния многомерного нелинейного звена токов, обеспечение астатизма САР по задающим воздействиям и оптимизацию динамических характеристик (времени переходного процесса, перерегулирования и др.). Метод дает возможность учесть насыщение главной магнитной цепи двигателя при синтезе регуляторов. Однако для их реализации требуется также знание параметров как на этапе проектирования, так и в текущий момент времени и в частности кривую намагничивания двигателя по главному магнитному пути.

Подход на основе принципов робастных систем [10]

Использование принципов робастных систем при построении многомерных САР токов асинхронного двигателя позволяет получить структуры регуляторов токов, не требующих точного знания параметров звена токов и учета насыщения машины при их разработке. Достаточно знать лишь интервалы изменения параметров. Кроме того, робастная САР по сравнению с традиционной системой имеет улучшенную обработку внешних возмущающих воздействий, так как робастная система имеет увеличенный на единицу порядок астатизма. Вместе с тем при построении робастных САР токов может возникнуть проблема учета дискретности полупроводникового преобразователя в составе системы векторного управления асинхронного электропривода.

Подход на основе принципов релейных систем [11–13]

В последние годы получили развитие и широкое применение релейные системы. Релейные системы

позволяют обеспечить максимальное быстродействие по контуру момента и улучшить энергетические показатели асинхронного электропривода за счет совершенствования алгоритмов управления асинхронных электроприводов.

Релейные системы регулирования токов начали применяться при реализации принципа частотно-токового управления с применением преобразователя частоты со звеном постоянного тока [11]. Для формирования токов используются схемы с двухпозиционными гистерезисными регуляторами. При регулировании фазных токов каждый из трех (по числу фаз инвертора) регуляторов имеет гистерезисную характеристику. Такой принцип построения САР токов имеет недостаток, который заключается в следующем [7]. Три контура тока работают независимо друг от друга, в то время как процесс коммутации в каждом плече инвертора оказывает влияние на все три фазы. Вместе с тем в трехфазной обмотке, соединенной звездой без нулевого провода, сумма мгновенных значений токов равна нулю, т.е. независимыми величинами являются лишь два фазных тока. Таким образом, в рассматриваемой системе действуют три независимых регулятора при двух независимых переменных, что в ряде случаев ведет к возникновению нежелательных комбинаций коммутирующих ключей.

Развитием релейных систем являются системы с прогнозирующим релейно-векторным управлением [12, 13]. Способ прогнозирующего релейно-векторного управления относится к классу оптимальных прогнозирующих способов. Задача управления токами асинхронного двигателя заключается в том, чтобы на текущем интервале времени управления обеспечить значение управляемой величины (пространственного вектора токов статора) наиболее близкое к заданному пространственному вектору токов. Для выбора оптимального решения используются различные критерии, например, по оценки мгновенных значений управляемых величин в конце интервала управления или по оценке средних значений управляемых величин на интервале управления. При использовании первого критерия можно получить более высокую точность отработки задающего воздействия и более низкий коэффициент гармоник токов. Выбор наилучшего состояния пространственного вектора напряжений для текущего интервала управления осуществляется на основе прогнозирования результатов управления для всех возможных реализаций. В настоящее время разработаны различные варианты прогнозирования отклонений текущего состояния пространственного вектора токов от заданного состояния.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрейнер Р.Т., Дмитренко Ю.А. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами. Кишинев: Штиинца, 1982. 224 с.
2. Blaschke F. Das Prinzip der Feldorientierung die Grundlage für die Transvector – Regelung von Drehfeldmaschinen. - Siemens. 1971. 45, № 1. P. 757–760.
3. Flöter W., Ripperger H. Die Transvektor-Regelung für den feldorientierten Betrieb einer Asynchronmaschine // Siemens-Zeitschrift. 1971. Bd. 45 – H. 10. S. 761–764.
4. Aaltonen M., Tiitinen P., Lalu J., Heikkilä S. Direkt Torkue Control of AC motor drives // ABB Review. 1995. № 3. P. 19–24.
5. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. Харьков: Основа. 2004. 210 с.
6. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский гос. энергетический ун-т им. В.И. Ленина». Иваново: 2008. 321 с.
7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник для студ. высш. учеб. заведений. Москва: Издательский центр «Академия», 2006. 272 с.
8. Вейнгер А.М. Обобщение принципа подчиненного регулирования с последовательной коррекцией // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1977. № 1. С. 185–192.
9. Weinger A. "Energy regimes of high-power high-dynamic synchronous drive". IEEE International Electric Machines and Drives Conference. June 17–20, 2001, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 945–947.
10. Ишматов З.Ш., Плотников Ю.В., Гурентьев Е.А. Робастные регуляторы тока и скорости частотно-регулируемых асинхронных электроприводов // Электротехника. 2014, № 9. С. 35 – 40.
11. Бродовский В.Н., Иванов Е.С. Приводы с частотно-токовым управлением / Под ред. В.Н. Бродовского. Москва: Энергия, 1974. 168 с.
12. Ефимов А.А., Шрейнер Р.Т. Активные преобразователи в регулируемых электроприводах переменного тока. Новоуральск: НГТИ, 2001. 250 с.
13. Шрейнер Р.Т. [и др.] Прогнозирующее релейно-векторное управление активными преобразователями частоты в системах электропривода переменного тока // Электротехника. 2004. № 10. С. 43–50.